

بررسی و پیش‌بینی زوال درختان بلوط با استفاده از مدل رگرسیون لجستیک (مطالعه موردی: جنگل‌های بیوره ملکشاهی - ایلام)

علی مهدوی^۱، وحید میرزایی‌زاده^{۲*}، مریم نیک‌نژاد^۳ و امید کرمی^۴

۱- دانشیار، گروه علوم جنگل، دانشگاه ایلام

۲- نویسنده مسئول، دانش‌آموخته کارشناسی ارشد جنگل‌داری، دانشگاه ایلام، پست الکترونیک: vahidmirzaei6764@gmail.com

۳- دانشجوی دکتری جنگل‌داری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

۴- دانشجوی دکتری جنگل‌داری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

تاریخ دریافت: ۹۳/۰۵/۲۳ تاریخ پذیرش: ۹۴/۰۳/۱۸

چکیده

تنش‌های ناشی از خشکسالی‌های اخیر و نفوذ ریزگردها سبب ضعف فیزیولوژیک درختان بلوط شده است به طوری که حملات حشرات و عوامل بیماری‌زا منجر به خشکیدگی درختان بلوط در جنگل‌های زاگرس شده است. برای ارزیابی تأثیر عوامل فیزیوگرافی شکل زمین، تراکم پوشش جنگلی و خاک منطقه بر میزان و پراکنش خشکیدگی درختان بلوط در جنگل‌های بیوره شهرستان ملکشاهی در استان ایلام از مدل رگرسیون لجستیک استفاده شد. بدین منظور در قطعه نمونه‌ای به مساحت ۵۴۰ هکتار با استفاده از سیستم موقعیت‌یاب جهانی اقدام به برداشت موقعیت درختان خشکیده شد. سپس با استفاده از این نقاط و مدل رقومی ارتفاع منطقه مورد مطالعه نقشه‌های درختان خشکیده بلوط، ارتفاع از سطح دریا، جهت شیب و درصد شیب، تراکم پوشش جنگلی و خاک منطقه تهیه شد. برای درک ارتباط هر یک از عوامل با خشکیدگی درختان بلوط از مدل رگرسیون لجستیک استفاده شد، به طوری که نقشه‌های عوامل ذکر شده به‌عنوان متغیر مستقل و نقشه موقعیت درختان خشکیده بلوط به‌عنوان متغیر وابسته وارد مدل رگرسیونی شدند. نتایج حاصل از مدل نشان داد که با افزایش ارتفاع از سطح دریا و در جهت‌های جنوبی و غربی و افزایش تراکم پوشش جنگلی و در مناطق با عمق کم خاک و افزایش درصد شیب منطقه میزان و پراکنش درختان خشکیده بلوط افزایش می‌یابد. در نهایت بر اساس تأثیر هر یک از متغیرهای مستقل و نقشه کنونی موقعیت درختان خشکیده، نقشه احتمال خشکیدگی درختان بلوط در آینده تهیه شد.

واژه‌های کلیدی: درختان سریای خشک، رگرسیون لجستیک، عوامل فیزیوگرافی، ملکشاهی، ایلام.

مقدمه

جنگل‌های ناحیه رویشی زاگرس، با مساحت حدود ۶ میلیون هکتار، ۴۱ درصد از سطح جنگل‌های ایران را به

خود اختصاص داده است (جزیره‌ای و ابراهیمی رستاقی، ۱۳۸۲) جنس بلوط (*Quercus*) از خانواده *Fagaceae* است. این خانواده دارای هشت جنس و ۱۰۰۰ گونه در

اکوسیستم‌های جنگلی مختلف عوامل مختلف با ترکیب‌های متفاوت بر پیدایش و شدت و ضعف آن تأثیر می‌گذارند (Guarin & Taylor, 2005 و Linares et al, 2010). ضعف فیزیولوژیک درختان بلوط شرایط را برای بروز و طغیان گروه‌های خاصی از آفات و بیماری‌های فرصت‌طلب مهیا کرده و نتیجه آن بروز پدیده‌ها و بیماری نوظهور در عرصه‌های جنگلی است که خشکیدگی و زوال بلوط در جنگل‌های غرب یکی از پیامدهای آن است. بر اساس آخرین آمار موجود مناطق آلوده شده بیشتر در استان‌های ایلام، فارس، لرستان، کرمانشاه، چهارمحال و بختیاری، کهگیلویه و بویراحمد و خوزستان پراکنش یافته است. آمار اعلام شده در استان‌های مذکور نشان از بحرانی بودن سطح گسترده‌ای از جنگل‌های بلوط دارد (بی‌نام، ۱۳۹۱). شناسایی کانون‌های دائمی و جدید آلوده و پیش‌بینی مکان‌هایی که در خطر این معضل هستند یکی از اساسی‌ترین و ضروری‌ترین فعالیت‌های دستگاه‌های اجرایی و تحقیقاتی است. به طوری که از میان استان‌های واقع در منطقه رویشی زاگرس استان ایلام از نظر خشکیدگی درختان بلوط در شرایط بحرانی قرار دارد (پیری، ۱۳۹۱). خشکیدگی درختان بلوط در استان ایلام در پارک جنگلی چغاسبز و تنگه دالاب و جنگل‌های شهرستان ملکشاهی در حال افزایش بوده و باعث ایجاد نگرانی در جنگل‌نشینان و مسئولان ذیربط شده است.

مطالعات انجام شده در سایر نقاط دنیا نشان داد که مرگ‌ومیر درختان در سطح جنگل‌ها به طور یکنواخت اتفاق نمی‌افتد و در موقعیت‌های مختلف توپوگرافیک باهم فرق دارد (Guarian & Taylor, 2005 و Stephenson, 1990). Elliot & Swank (1994) طی پژوهشی در جنگل‌های غرب کارولینای شمالی نتیجه گرفتند که میزان مرگ‌ومیر در جوامع درختی مختلف بلوط باهم تفاوت دارد. همچنین

سرتاسر دنیا بوده که جنس بلوط با بیش از ۶۰۰ گونه بزرگ‌ترین جنس را تشکیل می‌دهد (Coombs, 1999). در جنگل‌های زاگرس بلوط مهم‌ترین و فراوان‌ترین گونه درختی است. بلوط ایرانی (*Q. brantii*) درختی است بزرگ با ارتفاع متوسط حدود هشت متر، گاهی تا ۲۰ متر و تنها گونه بلوط موجود در سه استان ایلام، کهگیلویه و بویراحمد و فارس است (فتاحی، ۱۳۷۳). جنگل‌های بلوط در معرض تهدیدات متعددی قرار دارد: تغییر کاربری اراضی، قطع درختان، چرای دام، آتش‌سوزی‌های عمدی و غیرعمدی و تهاجم آفات و بیماری‌ها همه از عوامل اصلی تخریب در اکوسیستم جنگلی زاگرس بشمار می‌آیند (بی‌نام، ۱۳۹۱). از سوی دیگر عدم زادآوری درختان، موجب شده تا این جنگل‌ها به سوی جنگل‌های پیر سوق داده شوند. در چنین وضعیتی، کاهش تراکم حجم تاج‌پوشش، پایین آمدن سطوح تنوع گونه‌های گیاهی و جانوری، وقوع سیلاب‌ها، افزایش دمای هوا، وقوع پدیده ریزگردها و غبارها، کاهش یافتن ذخیره نزولات جوی که منجر به اُفت ذخیره آب‌های زیرزمینی شده است، جنگل‌های این مناطق را با وضعیت دشواری مواجه کرده و ضربه‌پذیری آن‌ها را در مواجهه با تنش‌های محیطی چندین برابر کرده است. مرگ‌ومیر درختی از پدیده‌های مهمی است که اغلب در پی وقوع تغییرات اقلیمی ظهور پیدا کرده یا تشدید می‌شود. از حدود دو قرن پیش اغلب جنگل‌های دنیا با این چالش بزرگ مواجه شده‌اند که به‌ویژه در جنگل‌های بلوط دنیا به مسئله حادی تبدیل شده است (Kabrick et al., 2008 و Starkey et al, 1988). مرگ‌ومیر درختی هم به‌عنوان سازوکاری برای رهاسازی کربن و مواد غذایی و هم به‌عنوان تغییر ساختار و ترکیب جنگل، نقش کلیدی در تحولات اساسی و ساختاری اکوسیستم‌های جنگلی ایفا می‌کند (Franklin et al, 1987). منشأ نابودی درختان، متنوع و مختلف بوده و در

بیشترین میزان آلودگی در طبقه ارتفاعی ۲۰۰۰-۱۷۰۰ متر از سطح دریا و در جهت جغرافیایی جنوب مشاهده شد و شیب منطقه با میزان و شدت آلودگی ارتباطی ندارد.

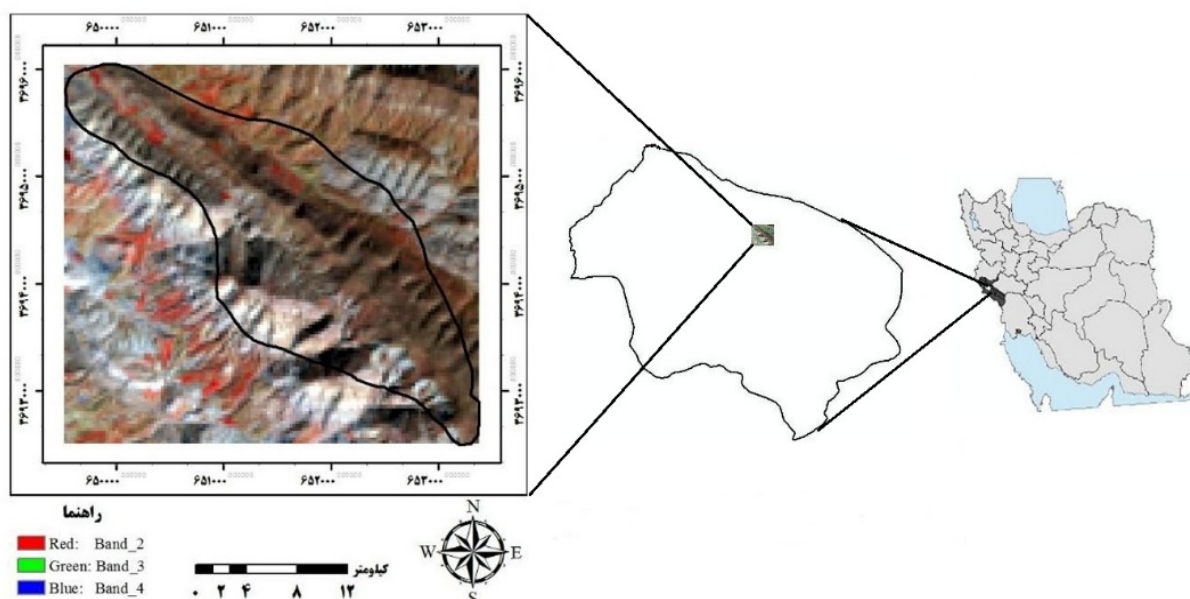
هدف این پژوهش ارزیابی میزان خشکیدگی درختان جنگلی بلوط تحت تأثیر عوامل فیزیوگرافی، خاک و تراکم پوشش جنگلی و ارائه نقشه پیش‌بینی خشکیدگی بلوط با استفاده از مدل آماری رگرسیون لجستیک در جنگل‌های بلوط بیوره شهرستان ملکشاهی در استان ایلام است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه جنگلی مورد مطالعه در قسمتی از جنگل‌های بلوط بیوره با مساحت ۵۴۰ هکتار در شهرستان ملکشاهی در استان ایلام واقع شده است. این منطقه جنگلی در مجاورت شهر ارکواز ملکشاهی با گسترش شمال‌غربی- جنوب‌شرقی و تا جنوب کوه معروف کبیرکوه امتداد دارد. از نظر موقعیت جغرافیایی بین ۴۶ درجه و ۳۰ دقیقه و ۳۸ ثانیه تا ۴۶ درجه و ۴۰ دقیقه و ۲۳ ثانیه طول شرقی و ۳۳ درجه و ۱۹ دقیقه و ۴۹ ثانیه تا ۳۳ درجه و ۲۶ دقیقه و ۵۲ ثانیه عرض شمالی واقع شده است. متوسط دمای سالانه آن ۱۵ درجه سانتیگراد و متوسط بارندگی سالانه در منطقه ۳۲۰ میلی‌متر می‌باشد (بی‌نام، ۱۳۹۰). حداقل و حداکثر ارتفاع منطقه مورد مطالعه به ترتیب ۱۳۵۰ و ۱۷۲۰ متر از سطح دریاست. جنگل‌های منطقه عمدتاً جز جوامع جنگلی مناطق خشک و نیمه‌خشک رشته‌کوه‌های زاگرس بوده و تیپ غالب جوامع جنگلی در بیشتر مناطق گونه بلوط ایرانی است. میزان تاج‌پوشش در منطقه بیوره که دارای جنگل‌های نیمه‌انبوه است بین ۵۰ تا ۷۵ درصد است و تأثیر میزان تاج‌پوشش بر کاهش فرسایش خاک در عرصه جنگل به‌وضوح مشاهده می‌شود (بی‌نام، ۱۳۸۶).

مرگ‌ومیر برای تمام گونه‌های درختی مورد مطالعه، اغلب در طبقات قطری پایین (قطر برابر سینه کمتر از ۱۰ سانتی‌متر) روی داده است. (Shaw et al. (2005) در تحقیقی در جنگل‌های جنوب غربی ایالات متحده از رابطه‌ای بین مرگ‌ومیر کاج (*Pinus edulis*) و شاخص تراکم درخت خبر دادند. Nelson و همکاران در سال ۲۰۰۷ طی تحقیقی در جنگل‌های کاج بریتیش کلمبیا نشان دادند که کانون‌های آلودگی درختان به سوسک‌های چوب‌خوار در محدوده ارتفاعی ۸۰۰-۱۰۰۰ متر از سطح دریا و جهت‌های جغرافیایی جنوبی و غربی بیشتر بوده است. Negran و همکاران (۲۰۰۹) طی پژوهشی نتیجه گرفتند که ارتفاع از سطح دریا و تراکم توده بر الگوهای مرگ‌ومیر درختان و پراکنش سوسک‌های چوب‌خوار تأثیر معنی‌داری دارند. Greenwood & Weisberg در سال ۲۰۰۸ در نتایج تحقیقی ابراز داشتند که خصوصیات ساختاری توده، به‌ویژه تراکم درختان با ظهور آفت رابطه مثبت دارد. Floyd et al. (2009) در نتایج مطالعه خود در جنگل‌های جنوب‌غربی آمریکا بیان کردند که مرگ‌ومیر درختی در نقاط مختلف جنگل به یک اندازه نیست. حمزه‌پور و همکاران (۱۳۹۰) در بررسی مقدماتی خشکیدگی درختان بلوط ایرانی در جنگل‌های دشت برم کازرون نتیجه گرفتند که بیشترین تعداد درختان خشکیده (۵۸/۳ درصد) شاخه‌زاد بوده و در طبقه میان قطر (۱۵ تا ۲۵ سانتی‌متر) دیده می‌شوند. همچنین بیشترین تعداد درختان خشکیده در طبقه چهار (میزان خشکیدگی بیشتر از ۷۵ درصد) قرار دارند. حسینی (۱۳۹۰) به بررسی میزان آلودگی درختان به سوسک‌های چوب‌خوار و ارتباط آن با شرایط رویشگاهی در جنگل‌های بلوط ایرانی در استان ایلام پرداخت، نتایج تحقیق وی نشان داد که عوامل توپوگرافیک و خصوصیات توده بر میزان آلودگی درختان به سوسک‌های چوب‌خوار تأثیر دارند. به‌طوری‌که



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در کشور و استان ایلام

داده‌های مورد استفاده

در این پژوهش از نقشه توپوگرافی با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ مربوط به سال ۱۳۷۵ تهیه شده توسط سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح برای ایجاد مدل رقومی ارتفاع (DEM) و همچنین تهیه داده‌های رقومی ارتفاع از سطح دریا، جهت شیب و درصد شیب منطقه استفاده شد؛ و همچنین از نقشه اجزا واحد اراضی حوضه آبخیز شهر ملکشاهی با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ برای تهیه نقشه عمق خاک و نیز از نقشه واحدهای هیدرولوژیکی خاک حوضه آبخیز شهر ملکشاهی برای بررسی نفوذپذیری آب در واحدهای اراضی استفاده شد؛ این نقشه‌ها توسط سازمان جهاد کشاورزی استان ایلام تهیه شده بودند. همچنین از تصویر ماهواره‌ای مربوط به ماهواره لندست ۸ سنجنده OLI مربوط به تاریخ ۳۱ تیرماه ۱۳۹۳ برای تهیه نقشه تراکم پوشش جنگلی استفاده شد.

تهیه نقشه مدل رقومی ارتفاع

ابتدا نقشه توپوگرافی مربوط به منطقه مورد مطالعه در محیط نرم‌افزار Arc GIS 10.2 زمین مرجع شده و

منحنی‌های میزان را از نقشه‌های توپوگرافی رقومی کرده و نقشه DEM منطقه با ساختار رستری از نقشه توپوگرافی برداری رقومی شده بوجود آمد.

تهیه نقشه‌های مشخصه‌های اصلی فیزیوگرافی

نقشه‌های شیب، جهت شیب و ارتفاع از سطح دریا، از روی مدل رقومی ارتفاع منطقه به دست آمد. با کلاسه‌بندی مجدد (Reclassify) مدل رقومی ارتفاع به طبقات ۱۰۰ متری، نقشه طبقات ارتفاعی در ۴ طبقه تهیه شد. برای تعیین دقیق ارتباط احتمالی عامل شیب با پدیده خشکیدگی درختان بلوط، نقشه شیب به ۵ طبقه، ۰-۱۰٪، ۱۰-۲۰٪، ۲۰-۳۰٪، ۳۰-۴۰٪ و بیشتر از ۴۰ درصد طبقه‌بندی شد. همچنین نقشه جهت شیب به ۵ طبقه شامل ۴ جهت اصلی جغرافیایی (شمال، جنوب، شرق و غرب) و اراضی پست و هموار تهیه گردید.

تهیه نقشه موقعیت درختان خشکیده بلوط

به‌منظور تهیه نقشه موقعیت مکانی درختان خشکیده منطقه پس از تعیین محدوده منطقه با استفاده از GPS اقدام به

اجزا واحد اراضی H-۲-۲

دارای خاک خیلی کم‌عمق با سنگریزه سطحی زیاد، عمق خاک در این اراضی از ۵ تا ۱۵ سانتیمتر تغییر می‌کند (بی‌نام، ۱۳۸۶).

اجزا واحد اراضی T-۱-۱ (Trraces)

دارای خاک نسبتاً عمیق با سنگریزه سطحی متوسط تا زیاد، عمق خاک در این اراضی بیش از ۱۵۰ سانتیمتر تغییر می‌کند (بی‌نام، ۱۳۸۶).

اجزا واحد اراضی T-۱-۲

دارای خاک نسبتاً عمیق با سنگریزه سطحی متوسط، عمق خاک در این اراضی بیش از ۱۵۰ سانتیمتر تغییر می‌کند (بی‌نام، ۱۳۸۶).

یکی از فاکتورهایی که برای تخمین رواناب حاصل از بارندگی ارزیابی می‌شود، گروه‌های هیدرولوژیکی خاک است. گروه‌های هیدرولوژیکی خاک‌ها شامل چهار گروه A، B، C و D است که هر یک از گروه‌ها به ترتیب دارای توان تولید رواناب کم، متوسط، نسبتاً زیاد و زیاد می‌باشند؛ و به‌طور کلی شدت نفوذپذیری از گروه A به سمت گروه D کاهش می‌یابد. اجزا واحد اراضی منطقه مورد مطالعه در گروه‌های هیدرولوژیکی خاک C و B قرار دارند.

جنگل گردشی و آماربرداری صد در صد و برداشت موقعیت مکانی درختان خشکیده بلوط موجود در محدوده ۵۴۰ هکتاری موردنظر شد سپس این نقاط ثبت‌شده در سیستم موقعیت‌یاب جهانی به رایانه انتقال داده شد و در محیط نرم‌افزار Arc GIS 10.2 نقشه موقعیت درختان خشکیده به‌صورت نقاط تهیه شد، سپس نقشه موردنظر به ساختار رستری تبدیل شد.

تهیه نقشه اجزا واحد اراضی خاک

با توجه به استانداردها و دستورالعمل‌های موجود در کشور (مؤسسه تحقیقات خاک و آب) کلیه منابع اراضی از نظر شکل ظاهری و فیزیوگرافی به ۹ تیپ اصلی و ۳ تیپ فرعی تقسیم‌بندی می‌شوند که هر یک از تیپ‌ها بر اساس تقسیمات ژئومورفولوژی (رخساره و لیتولوژی) و توپوگرافی (شیب و پستی و بلندی) به چند واحد اراضی تقسیم می‌گردند و هر واحد اراضی بر اساس سنگ‌شناسی و محدودیت‌های خاک و اقلیم به اجزا کوچک‌تر به نام اجزا واحد اراضی تقسیم می‌شوند (بی‌نام، ۱۳۸۶). در منطقه مورد مطالعه چهار واحد اراضی زیر مشاهده شدند:

اجزا واحد اراضی H-۲-۱ (Hills)

دارای خاک خیلی کم‌عمق با سنگریزه سطحی متوسط، عمق خاک در این اراضی از ۵ تا ۳۵ سانتیمتر تغییر می‌کند (بی‌نام، ۱۳۸۶).

جدول ۱- حداقل شدت نفوذ در گروه‌های هیدرولوژیکی خاک (مهدوی، ۱۳۸۴)

توانایی تولید رواناب	نوع خاک	شدت نفوذ به اینچ بر ساعت	گروه‌های هیدرولوژیکی خاک
کم	شنی و قلوه‌سنگی	بیش از ۳	A
متوسط	شنی لومی-شنی رسی	۱/۵-۳	B
نسبتاً زیاد	لومی، لومی رسی دارای لایه سخت در عمق خاک	۰/۵-۱/۵	C
خیلی زیاد	رسی، خاک‌های شور، سنگ، جاده آسفالت، بتون، خاک‌های کم‌عمق	کمتر از ۰/۵	D

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad \text{رابطه (۱)}$$

که در آن NIR تشعشع ثبت شده در باند مادون قرمز نزدیک ماهواره و RED تشعشع ثبت شده در باند قرمز ماهواره است. دامنه تغییرات این شاخص بین ۱ و -۱ است. بازتاب مناطق با خاک لخت در محدوده مادون قرمز و قرمز مشابه است، بنابراین تصویر NDVI دارای ارزشی نزدیک به صفر هستند. مناطق با پوشش گیاهی مترکم دارای بازتاب بیشتری در طیف مادون قرمز بوده و مقادیر این مناطق در تصویر NDVI بزرگ تر از صفر است.

طبقه بندی مقادیر NDVI به طبقات مختلف پوشش گیاهی به منظور بررسی تراکم پوشش گیاهی در جنگل های بیوره اقدام به تهیه نقشه تراکم پوشش جنگلی منطقه مورد مطالعه با تأکید بر درجات تراکم پوشش گیاهی شد. با توجه به اینکه شاخص گیاهی تفاضلی نرمال شده دارای مقادیر نرمال در دامنه -۱ و +۱ است و مقادیر مختلف NDVI نمایانگر پوشش های مختلف می باشند بر همین اساس اقدام به طبقه بندی تصاویر حاصل از شاخص گیاهی NDVI شد. به طوری که مقادیر NDVI بین ۰/۰۵ تا ۰/۱ برای مناطق گیاهی با تاج پوشش تنک، مقادیر بین ۰/۱ تا ۰/۵ برای مناطق گیاهی با تاج پوشش خوب و معمولی و مقادیر بالاتر از ۰/۵ برای مناطق گیاهی بسیار مترکم و غنی است و همچنین مقادیر کمتر از ۰/۰۵ مناطق بدون پوشش را تشکیل می دهد (Mather, 1999) و کبیری، ۱۳۸۰ و فاطمی و رضایی، (۱۳۸۵). از این رو بر همین اساس اقدام به طبقه بندی تصویر مربوطه شده و نقشه طبقات پوشش گیاهی منطقه مورد مطالعه تهیه شد.

جدول ۲- طبقات تراکم پوشش گیاهی حاصل از شاخص NDVI

طبقات	تراکم تاج پوشش	ارزش مقادیر NDVI
۱	بدون پوشش گیاهی	-۰/۱۳ - ۰/۰۵
۲	پوشش گیاهی تنک	۰/۰۵ - ۰/۱
۳	پوشش گیاهی خوب	۰/۱ - ۰/۴۶

تهیه نقشه تراکم پوشش جنگلی با استفاده از تصاویر ماهواره ای

تصحیح هندسی و ارتفاعی

به منظور اعمال تصحیح هندسی بر روی تصویر سال ۱۳۹۳ با استفاده از روش نقشه به تصویر تعداد ۳۲ نقطه کنترل زمینی بر روی لایه های وکتوری جاده ها و آبراهه ها استخراج شده از نقشه های توپوگرافی و همچنین نقاط مرجع زمینی ثبت شده با GPS استفاده شد و نقاط متناظر آنها بر روی تصویر تعیین شد پس از بکارگیری روش نا پارامتری چندجمله ای و حذف نقاط نامناسب، تصحیح هندسی با تعداد ۲۵ نقطه کنترل زمینی و میزان خطای ریشه میانگین مربعات (RMSE) ۰/۲۹ پیکسل انجام شد. به دلیل کوهستانی بودن منطقه و همچنین به منظور تأکید بر صحت بالای هندسی تصویر در این پژوهش برای تصحیح ارتفاعی و برطرف کردن پدیده ناشی از پستی و بلندی از روش تصحیح ارتو (Ortho Rectification) استفاده شد. به این منظور از مدل رقومی ارتفاع (DEM) منطقه، اطلاعات مداری سنجنده و ۲۰ نقطه کنترل زمینی با پراکنش مناسب در سطح منطقه، استفاده شد. عمل نمونه گیری مجدد با روش نزدیکترین همسایه بر روی تصاویر اعمال شد که خطای ریشه میانگین مربعات ۰/۳۸ پیکسل به دست آمد. لازم به ذکر است که در تصحیحات هندسی، مقدار خطای ریشه میانگین مربعات قابل قبول، کمتر از ۰/۵ پیکسل است (Shalaby et al., 2007). همچنین به منظور کاهش اثر گردوغبار و ذرات معلق از مدل کاست در نرم افزار IDRISI Selva استفاده شد.

شاخص گیاهی NDVI

این شاخص از مشهورترین شاخص های گیاهی است که در بیشتر تحقیقات و بررسی های ماهواره ای برای تعیین شدت و ضعف پوشش گیاهی استفاده شده است. در این شاخص محدوده طیفی مادون قرمز نزدیک (NIR) و قرمز (RED) به کار گرفته شده و توسط رابطه کلی زیر تشریح می گردد (Pocas et al, 2013).

ارزیابی دقت نقشه

به‌منظور ارزیابی دقت نقشه تهیه‌شده، با توجه به آشنایی با منطقه مورد مطالعه و به کمک تفسیر بصری تصویر رنگی کاذب اقدام به جمع‌آوری نمونه‌های تعلیمی به‌صورت برداشت‌های میدانی از منطقه مورد مطالعه شد. بدین ترتیب با در اختیار داشتن ۵۸ نمونه تعلیمی که با استفاده از GPS برداشت شدند و در نظر گرفتن سه طبقه اراضی فاقد پوشش گیاهی، اراضی دارای پوشش تنک و اراضی با پوشش گیاهی خوب از روش پیشنهادی دلایلیان و اسمیت (Dellepian and Smith, 1999) مطابق رابطه (۲) زیر استفاده شد:

$$OA = \frac{1}{N(\sum P_{ii})} \quad \text{رابطه (۲)}$$

که در آن OA صحت کلی، N تعداد کل پیکسل‌های آزمایشی، $\sum P_{ii}$ مجموع پیکسل‌های درست طبقه‌بندی شده است. همچنین ضریب کاپا نیز از رابطه ۳ محاسبه شد:

$$K = \frac{P_O - P_C}{1 - P_C} \quad \text{رابطه (۳)}$$

که در آن P_O درستی مشاهده‌شده و P_C توافق مورد انتظار هستند (سرودی و جوزی، ۱۳۹۲).

مدل رگرسیون لجستیک

$$\text{Logit}(p) = \ln\left(\frac{p}{1-p}\right) = a + \{b_1 X_1\} + \{b_2 X_2\} + \{b_3 X_3\} + \dots + \{b_n X_n\}$$

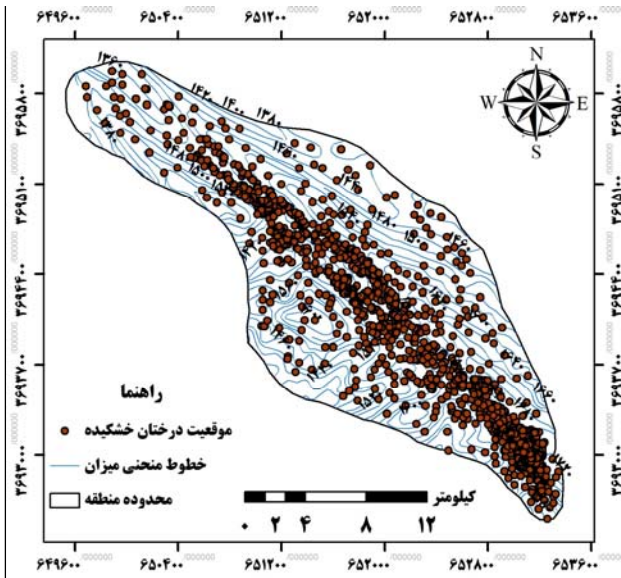
رابطه (۳)

متغیرهای مورداستفاده از روش حداکثر احتمال استفاده می‌شود (Aldrich & Nelson, 1986).

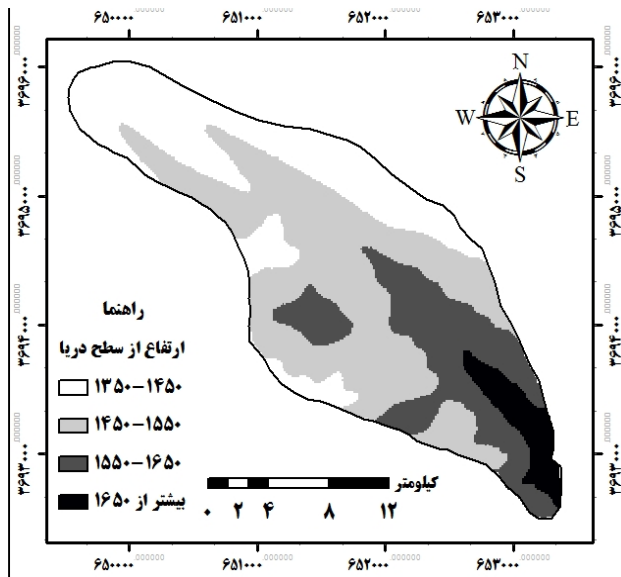
در این مطالعه نقشه رستری موقعیت درختان خشکیده به‌عنوان متغیر وابسته و داده‌های رقمی ارتفاع از سطح دریا، جهت شیب زمین، درصد شیب نقشه اجزا واحد اراضی و نقشه تراکم پوشش گیاهی منطقه مورد مطالعه به‌عنوان پارامترهای مؤثر در روند خشکیدگی به‌عنوان متغیرهای مستقل در برقراری رابطه رگرسیون لجستیک

در اینجا، p متغیر وابسته؛ X_1, X_2, X_3 و X_n متغیرهای مستقل؛ a ضریب معادله رگرسیون (عرض از مبدأ) و $b_1, b_2, b_3, \dots, b_n$ ضرایب هر یک از متغیرهای مستقل است (کامیاب و همکاران، ۱۳۸۹). ارتباط بین متغیر وابسته و متغیرهای مستقل از منحنی لجستیک پیروی می‌کند. ضمن آنکه در مدل رگرسیون لجستیک برخلاف مدل‌های احتمال دیگر که از روش کمترین مربعات استفاده می‌کنند، برای برآورد هر یک از مشخصه‌ها و ضرایب هر یک از

را نشان می‌دهند، هم‌چنین هریک از اجزا در گروه‌های هیدرولوژیکی خاصی قرار می‌گیرند که وضعیت نفوذپذیری آب و ایجاد رواناب سطحی خاک را نشان می‌دهند. نقشه اجزا واحد اراضی منطقه مورد مطالعه در شکل ۶ نشان داده شده است.



شکل ۲- نقشه موقعیت درختان خشکیده بلوط منطقه مورد مطالعه



شکل ۳- نقشه ارتفاع از سطح دریا (متر) منطقه مورد مطالعه

در محیط نرم‌افزار IDRISI Selva به کار گرفته شدند.

شاخص‌های ارزیابی مدل رگرسیون لجستیک

شاخص $Pseudo-R^2$

استفاده از این شاخص در مدل رگرسیون لجستیک برای آزمون برازش مدل رگرسیون لجستیک به کار می‌رود. میزان قابل قبول $Pseudo-R^2$ برای تأیید رضامندی مدل در محدوده $0/2 - 0/4$ است.

شاخص ROC

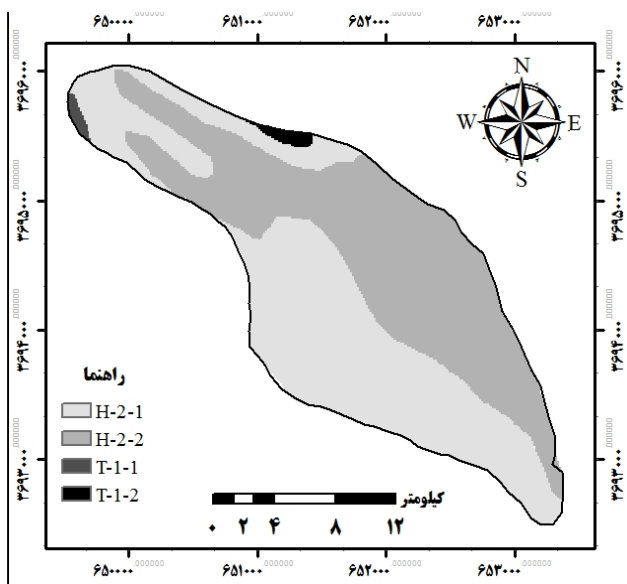
این شاخص به صورت عددی بین ۰-۱ بیان می‌شود که از منحنی ROC به دست می‌آید. هنگامی که بین نقشه واقعی و نقشه حاصل از مدل تطابق کامل وجود داشته باشد شاخص ROC برابر یک خواهد بود. ارزش $0/5$ برای این شاخص بیان‌کننده تصادفی بودن موقعیت‌هاست و نشان می‌دهد که ارزش سلول‌ها در نقشه احتمال پیش‌بینی به صورت موقعیت‌های تصادفی ایجاد شده است (Hu & Lo, 2007).

نتایج

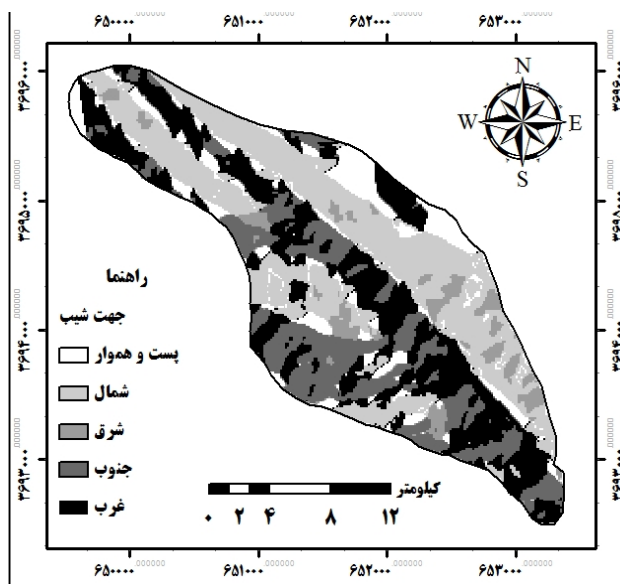
پس از جنگل‌گردشی در منطقه جنگلی بیوره با استفاده از GPS موقعیت درختان خشکیده بلوط برداشت شد و بعد در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی نقشه درختان خشکیده بلوط تهیه شد (شکل ۲). لازم به ذکر است که تعداد درختان خشکیده در منطقه ۲۵۹۶ درخت است که به طور میانگین می‌توان گفت در هر هکتار ۵ درخت خشکیده وجود دارد.

با استفاده از مدل رقومی ارتفاع منطقه نقشه‌های ارتفاع از سطح دریا، شیب و جهت شیب منطقه تهیه شده و بر اساس طبقات مورد نظر طبقه‌بندی شدند. نقشه‌های شکل زمین در شکل‌های ۳، ۴ و ۵ ارائه شده است.

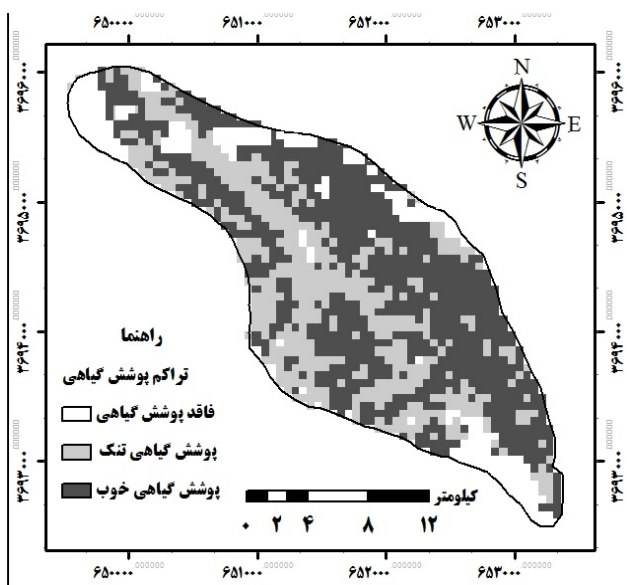
نقشه اجزا واحد اراضی خاک حاصل از مطالعات تفصیلی حوضه آبخیز شهر ملکشاهی ویژگی‌هایی مانند عمق خاک، بافت خاک و وضعیت فرسایش واحد اراضی منطقه



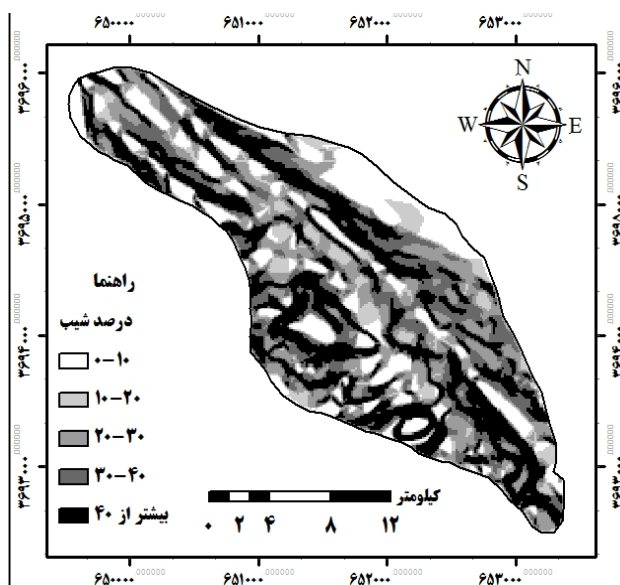
شکل ۶- نقشه اجزا واحد اراضی منطقه مورد مطالعه



شکل ۴- نقشه جهت شیب منطقه مورد مطالعه



شکل ۷- نقشه تراکم پوشش گیاهی منطقه مورد مطالعه

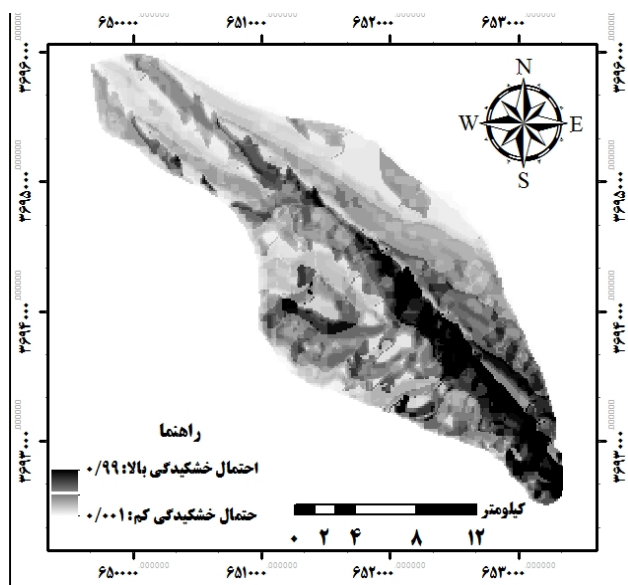


شکل ۵- نقشه درصد شیب منطقه مورد مطالعه

با اعمال شاخص NDVI بر روی تصویر ماهواره لندست سال ۱۳۹۳، نقشه تراکم پوشش گیاهی جنگل‌های بیوره با تعریف درجات مختلف تراکم تهیه شد. این مهم در شکل ۷ نمایش داده شده است.

نتایج ارزیابی صحت تصویر ماهواره‌ای طبقه‌بندی شده با شاخص NDVI در جدول ۳ ارائه شده است. با توجه به مقادیر بالای ۸۵٪ صحت کلی می‌توان از این تصاویر برای بررسی تغییرات پوشش گیاهی استفاده کرد.

در نهایت مدل رگرسیون لجستیک بر اساس نقشه موقعیت فعلی درختان خشکیده بلوط و تأثیر هریک از متغیرهای مستقل، نقشه احتمال خشکیدگی درختان بلوط در آینده را ارائه می‌کند که در این نقشه (شکل ۸) میزان احتمال بیشتر نشان‌دهنده مناطق مستعد برای خشک شدن درختان بلوط است.



شکل ۸- نقشه احتمال خشکیدگی درختان بلوط در آینده

بحث

بر اساس نتایج به دست آمده می‌توان گفت که فاکتورهای فیزیوگرافی رویشگاه از عواملی هستند که در وقوع پدیده‌هایی مانند مرگ‌ومیر درختان و درصد آلودگی درختان بلوط به آفات مانند سوسک چوب‌خوار بلوط و بیماری‌های قارچی چون زغالی شدن را نشان می‌دهد. سوسک‌های چوب‌خوار و بیماری‌های قارچی از عوامل ثانویه فرایند زوال درختان بلوط به شمار می‌آیند، اما زمانی که درختان تحت تنش و ضعف قرار دارند، مرگ‌ومیر آن‌ها را تسریع می‌کنند (حسینی، ۱۳۹۰). سوسک‌های چوب‌خوار و بیماری‌های قارچی گرچه زنده هستند و به راحتی قادر به جابجایی از درختی به درخت دیگر هستند، اما شدت و ضعف انتشار

جدول ۳- نتایج ارزیابی صحت تصاویر طبقه‌بندی شده حاصل از شاخص NDVI

صحت کلی	ضریب کاپا
۸۴/۲۶	۰/۷۹

جدول ۴- ضرایب متغیرهای مستقل حاصل از مدل رگرسیون

متغیر مستقل	ضریب معادله رگرسیونی	سطح معنی داری
ارتفاع از سطح دریا	۰/۵۳۲۵	۰/۰۰۱
جهت شیب	۰/۳۴۰۷	۰/۰۳
تراکم پوشش گیاهی	۰/۲۱۵۸	۰/۰۰۱
خاک	-۰/۱۳۵۰	۰/۰۱
درصد شیب	۰/۱۳۲۹	۰/۰۴
ضریب ثابت	-۶/۸۴۷۶	۰/۰۰۱

سپس نقشه‌های هریک از مشخصات فیزیوگرافی منطقه یعنی ارتفاع از سطح دریا، جهت شیب و درصد شیب و نقشه‌های اجزا واحد اراضی و تراکم پوشش گیاهی به عنوان متغیر مستقل و نقشه درختان خشکیده بلوط منطقه به عنوان متغیر وابسته وارد مدل رگرسیون لجستیک شدند که تأثیر هریک عوامل ذکر شده بر خشک شدن درختان بلوط منطقه مورد مطالعه به صورت ضریب در خروجی رگرسیون لجستیک ارائه می‌گردد البته هرچه میزان آن ضریب بیشتر باشد نشان می‌دهد که آن طبقه تأثیرش بر زوال درختان بلوط بیشتر است. نتایج مدل رگرسیونی در جدول ۴ نشان داده شده است. میزان شاخص ROC برابر است با ۰/۸۶۵۱ و شاخص Pseudo-R² برابر با ۰/۲۰۸۲ به دست آمد که به دلیل قرار گرفتن در محدوده مورد قبول تأییدکننده قابلیت خوب مدل رگرسیون لجستیک می‌باشند.

خشکیدگی‌های تاجی دیده می‌شود در چنین شرایطی حضور سوسک‌های چوب‌خوار بیشتر شده و درختان تحت تنش را بیشتر مورد حمله قرار داده و روند خشکیدگی و مرگ آن‌ها را تسریع می‌بخشد؛ این موضوع در تحقیقات Negron و همکاران (۲۰۰۹) و Fan و همکاران (۲۰۰۸) تأیید شده است به طوری که آنان نتیجه گرفتند تراکم درختان با میزان مرگ‌ومیر و شدت آلودگی به بیماری‌های قارچی و سوسک‌های چوب‌خوار ارتباط معنی‌دار دارد. همچنین افزایش تراکم پوشش جنگلی بحث رقابت درون‌گونه‌ای را هم افزایش می‌دهد و رقابت بر سر دسترسی به منابع افزایش پیدا می‌کند که این موضوع می‌تواند به ضعیف شدن درختان آسیب‌دیده و حساس افزوده و در نهایت منجر به مرگ آن‌ها گردد. مطالعاتی که در مورد علل ضعف در برخی از درختان جنگلی انجام شده نشان می‌دهد که قسمتی از ضعف و کاهش رشد توده‌های جنگلی به رقابت بین آن‌ها در استفاده از منابع رشد ارتباط دارد. درختانی که مغلوب هستند در ازای مقدار مساوی نور، ازت و آب نسبت به درختان غالب و چیره، مقدار کمتری کربن تثبیت می‌کنند (Binkley et al, 2002). نتایج معادله رگرسیونی نشان می‌دهد که متغیر مستقل خاک ضریب منفی گرفته که نشان‌دهنده این موضوع است که با کاهش عمق خاک در اجزا واحد اراضی میزان خشکیدگی درختان افزایش پیدا می‌کند همچنین خاک‌های دارای عمق کمتر دارای بافتی سنگین‌تر هستند علاوه بر این خاک‌های کم‌عمق‌تر در گروه هیدرولوژیکی C قرار گرفته‌اند که به مراتب شدت نفوذ آب در آن نسبت به گروه هیدرولوژیکی B که خاک با عمق بیشتر در آن واقع‌اند کمتر است و ایجاد رواناب سطحی در آن‌ها بیشتر رخ می‌دهد؛ از این‌رو خاک‌های کم‌عمق‌تر امکان نگهداری آب در آن‌ها پایین‌تر بوده و در معرض فرسایش‌های شدید قرار دارند و یا اینکه قبلاً فرسایش پیدا کرده‌اند. همان‌طور که معلوم است بین درختان و خاک تأثیر متقابل وجود دارد و همان‌طور که رشد و تولید درختان به حاصلخیزی خاک ارتباط دارد، میزان و نوع برگشت مواد آلی به خاک در ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مؤثر است. بطور مسلم عاملی که

آن‌ها در بین توده‌های بلوط به‌طور مستقیم و غیرمستقیم متأثر از شرایط مختلف رویشگاهی و توپوگرافیک منطقه است. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از این پژوهش با افزایش ارتفاع از سطح دریا میزان خشکیدگی درختان بلوط افزایش پیدا کرده است دلیل این موضوع شاید به فراوانی بیشتر پایه‌های شاخه‌زاد در ارتفاعات بالا نسبت به پایه‌های دانه‌زاد در منطقه مورد مطالعه برگردد چون در بین جست‌گروه‌ها رقابت بین جستی و حساسیت بیشتر به تنش خشکی نسبت به پایه‌های دانه‌زاد وجود دارد و علاوه بر آن به دلیل کم‌قطر بودن پایه‌های شاخه‌زاد بیشتر مورد هجوم سوسک‌های چوب‌خوار قرار می‌گیرند؛ که این موضوع با یافته‌های تحقیقات Fan و همکاران (۲۰۰۸) و Greenwood and Weisberg (۲۰۰۸) همخوانی دارد. نتایج مطالعه حاضر نشان می‌دهد که در جهت جنوبی و غربی خشکیدگی درختان بلوط بیشتر است که دلیل این موضوع شاید چنین باشد که در این جهت‌ها هوا گرم‌تر و خشک‌تر است و با وقوع خشکسالی‌های اخیر بر میزان خشکی آن افزوده می‌شود به همین دلیل درختان در این نقاط بیشتر و زودتر دچار تنش و خشکی شده و آسیب‌پذیرترند، Nelson و همکاران (۲۰۰۷) و حسینی (۱۳۹۰) در تحقیقات خود این موضوع را تأیید کرده‌اند. عامل تأثیرگذار بعدی تراکم پوشش جنگلی منطقه است به طوری که این متغیر در معادله رگرسیونی ضریب مثبت گرفته نشان می‌دهد که با افزایش تراکم میزان خشکیدگی افزایش پیدا می‌کند با توجه به اینکه عامل بیماری زغالی درختان قارچ است و این بیماری انتقال پیدا می‌کند و نیز زمینه را برای انتقال بیماری از طریق سوسک چوب‌خوار نیز به راحتی فراهم می‌شود؛ از این‌رو این موضوع می‌تواند این نتیجه را تأیید کند که در مناطق با تراکم بالا احتمال انتقال بیماری افزایش پیدا می‌کند و خشکیدگی درختان محرزتر می‌شود علاوه بر این با افزایش تراکم درختی زی‌توده زنده جنگلی افزایش یافته و نیاز آبی آن بیشتر می‌شود در نتیجه در اثر تنش‌های خشکی بیشتر تحت تأثیر قرار گرفته و ضعف فیزیولوژیکی پیدا می‌کند که به صورت سر

جذب مواد غذایی موردنیاز گیاه از خاک را تسهیل می‌کند و منجر به رشد آن می‌شود رطوبت مناسب خاک است. بر همین اساس در خاک‌های کم‌عمق منطقه که نفوذپذیری آب در آن‌ها کم است، رواناب سطحی شدید منجر به شستن خاک شده و مواد آلی و معدنی آن را از بین می‌برد، در نتیجه درختان بلوط حساس در این مناطق با کمبودهای تغذیه‌ای مواجه شده که این موضوع منجر به مرگ‌ومیر درختان و در معرض آسیب قرار گرفتن درختان حساس به خشکیدگی در وضعیت فعلی می‌شود. میربادین و شیبانی (۱۳۷۳) در مطالعه‌ای علل ضعف فیزیولوژی کاج تهران در پارک چیتگر را کمبود مواد آلی و ضعیف بودن خاک از نظر مواد غذایی دانسته‌اند. یافته‌های بدست‌آمده از این پژوهش نشان می‌دهد که با افزایش شیب تعداد درختان خشکیده افزایش پیدا کرده است و در شیب‌های تندتر این خشکیدگی نمود بیشتری دارد. با توجه به اینکه در شیب‌های تندتر سرعت رواناب سطحی افزایش پیدا می‌کند، منجر به فرسایش خاک و از بین بردن خاک سطحی می‌شود که در نتیجه آن عمق خاک و رطوبت در این شیب‌ها کاهش پیدا می‌کند. از این‌رو عارضه زوال بلوط در خاک‌های کم‌عمق و خاک‌های شنی با خشکیدگی ریشه‌های موئین شروع می‌شود و کم‌کم با ظهور آفات و بیماری‌های ثانویه نظیر سوسک چوب‌خوار و پوست‌خوار، پوسیدگی ریشه، شانکرهای مختلف روی تنه درختان بلوط و قارچ عامل بیماری زغالی، سبب تنش شدید و زوال درختان بلوط می‌شود (پیری، ۱۳۹۱) می‌توان نسبت داد.

خشکیدگی بیشتر است احتمال خشک شدن بقیه درختان سالم نسبت به جاهای کم تراکم نیز بالاتر می‌رود چون با افزایش تراکم پوشش جنگلی احتمال انتقال بیماری از درختان بیمار و یا خشکیده به درختان سالم افزایش پیدا می‌کند. به‌طورکلی می‌توان گفت که شرایط فیزیوگرافی رویشگاه و ساختار توده از جمله عوامل مهمی هستند که بر چگونگی پراکنش خشکیدگی درختان بلوط و موقعیت و میزان زوال درختان تأثیر ویژه‌ای دارند، بنابراین در مدیریت کنترل این عارضه زیست‌محیطی باید به تأثیرات عوامل شکل زمین و فیزیوگرافی منطقه و عوامل ثانویه خشکیدگی مانند آفات و بیماری‌های قارچی که به‌صورت مستقیم و یا غیرمستقیم متأثر از عوامل فیزیوگرافی هستند توجه کرد. بنابراین ارائه نقشه احتمال خشکیدگی برای مدیران منابع طبیعی بسیار باارزش خواهد بود تا با توجه به آن بتوانند مناطق و درختان در معرض خشکیدگی را شناسایی کنند و از آن‌ها مراقبت‌های حمایتی و حفاظتی به عمل آورند که این خود عامل مهمی در کاهش اثرات این فاجعه زیست‌محیطی است. امید است نتایج این تحقیق در کاهش خشکیدگی و زوال درختان بلوط راهگشا باشد.

منابع مورد استفاده

- بی‌نام، ۱۳۸۶. مطالعات تفصیلی اجرایی حوزه آبخیز شهر ملکشاهی، سازمان جهاد کشاورزی استان ایلام.
- بی‌نام، ۱۳۹۰. سالنامه آماری استان ایلام، استانداری ایلام.
- بی‌نام، ۱۳۹۱. دستورالعمل مدیریت پایدار جنگل در اکوسیستم‌های جنگلی زاگرس به‌منظور پیشگیری و کنترل خشکیدگی بلوط، سازمان جنگل‌ها و مراتع و آبخیزداری، معاونت مناطق مرطوب و نیمه مرطوب، تهران، ۶۰ صفحه.
- پیری، ع، ۱۳۹۱. نشریه فنی ترویجی: خشکیدگی درختان بلوط، ایلام: مدیریت هماهنگی ترویج کشاورزی استان ایلام.
- جزیره‌ای، م.ح. و ابراهیمی رستاقی، م، ۱۳۸۲. جنگل‌شناسی زاگرس. تهران: دانشگاه تهران.

- ecosystem growth: an individual- tree, stand structure hypothesis. *Ecosystems*, 5: 58-67.
- Coombs, A.J. 1999. *Trees*. Dorlins kindersly Book, London. 128 p.
- Dellepian, S. G., Smith, P.C., 1999. Quality assessment of image classification algorithms for land cover mapping: A review and a proposal for a cost based approach, *International Journal of Remote Sensing*, 20: 1461-1486 .
- Dendoncker, N., Bogaert, P., Rounsevell, M., 2006. A statistical method to downscale aggregate land use data. *Journal of Land Use Science*, 1(2): 63-82.
- Elliott, K.J. and Swank, W.T., 1994. Impacts of drought on tree mortality and growth in a mixed hardwood forest. *Journal of Vegetation Science*, 5: 229-236.
- Fan, Z., Kabrick, J. M., Spetich, M. A., Shifley, S. R., Jensen, R. G., 2008. Oak mortality associated with crown dieback and oak borer attack in the Ozark Highlands. *Forest ecology and management*, 255 :2297-2305.
- Fettig, C.J., Klepzig, K.D., Billings, R.F., Munson, A.S., Nebeker, T.E., Negro´ n, J.F., Nowak, J.T., 2007. The effectiveness of vegetation management practices for prevention and control of bark beetle infestations in coniferous forests of the western and southern United States. *Forest ecology and management*, 238: 24-53.
- Floyd, M.L., Clifford, M., Cobb, N.S., Hanna, D., Delph, R., Ford, P. and Turner, D., 2009. Relationship of stand characteristics to drought induced mortality in three Southwestern piñon-juniper woodlands. *Ecological Applications*, 19(5): 1223-1230.
- Franklin, J.F., Shugart, H.H., Harmon, M.E., 1987. Tree death as an ecological process. *BioScience*, 37: 550-556.
- Greenwood D.L., Weisberg P.J. 2008. Density-dependent tree mortality in pinyon juniper woodlands. *Forest Ecology and Management*, 255 : 2129-2137.
- Guarin, A., Taylor, A.H. 2005. Drought triggered tree mortality in mixed conifer forests in Yosemite National Park, California, USA. *Forest ecology and management*, 218: 229-244.
- He, Z., Lo, C., 2007. Modeling urban growth in Atlanta using logistic regression. *Computers, Environment and Urban Systems*, 31(6): 667-688.
- Kabrick, J. M., Dey, D. C., Jensen, R. G. and Wallendorf, M., 2008. The role of environmental factors in oak decline and mortality in the Ozark Highlands. *Forest Ecology and Management*, 255(5-6): 1409-1417.
- Linares, J.C., Camarero, J.J., Bowker, M.A., Ochoa, V. Carreira J.A., 2010. Stand-structural effects on *Heterobasidion abietinum*-related mortality following drought events in *Abies pinsapo*. *Oecologia*, 164: 1107-1119.
- جلالی، ع.، ۱۳۷۵. بررسی علل خشکیدگی درخت راش در جنگل‌های حوضه ساری. رساله دکتری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۳۴ صفحه.
- حسینی، ا.، ۱۳۹۰. بررسی میزان آلودگی درختان به سوسک‌های چوب‌خوار و ارتباط آن با شرایط رویشگاهی در جنگل‌های بلوط ایرانی در استان ایلام. دو فصلنامه علمی-پژوهشی تحقیقات حمایت و حفاظت جنگل‌ها و مراتع ایران، ۹(۱): ۵۳-۶۶.
- حمزه‌پور، م.، کیادلیری، ه.، بردبار، ک.، ۱۳۹۰. بررسی مقدماتی خشکیدگی درختان بلوط ایرانی (*Q. brantii* Lindl.) در دشت برم کازرون. استان فارس، تحقیقات جنگل و صنوبر ایران: دوره ۱۹، شماره ۲ (پیاپی ۴۴): ۳۵۲ - ۳۶۳
- فاطمی، س. ب.، رضایی، ی.، ۱۳۸۴. مبانی سنجش از دور. انتشارات آزاده. ۲۵۷ صفحه.
- فتاحی، م.، ۱۳۷۳. بررسی جنگل‌های بلوط زاگرس و مهم‌ترین عوامل تخریب آن، موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، نشریه شماره ۱۰۱، ۶۳ صفحه.
- کامیاب، ح.، سلمان ماهینی، ع.، حسینی، م.، غلامعلی‌فرد، م.، ۱۳۸۹. اتخاذ رهیافت اطلاعات محور با کاربرد روش رگرسیون لجستیک برای مدل‌سازی توسعه شهری گرگان، محیط‌شناسی، ۳۶ (۵۴) : ۸۹-۹۶.
- کبیری، ک.، ۱۳۸۰. بررسی اثرات خشکسالی بر پوشش گیاهی در دهه ۹۰ میلادی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای NOAA، پایان‌نامه کارشناسی ارشد سنجش‌ازدور، دانشگاه صنعتی خواجه‌نصیرالدین طوسی، ۹۸ صفحه.
- مهدوی، م.، ۱۳۸۴. هیدرولوژی عمومی. تهران، انتشارات علم و ادب. ۲۵۹ صفحه.
- میربادین، ع.، شیبانی، ح.، ۱۳۷۳. علل ضعف فیزیولوژی کاج تهران، پارک چیتگر، انتشارات موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع، شماره ۱۲۴، ۶۱ صفحه.
- Aldrich, J.H., Nelson, F.D., 1986. *Linear Probability, Logit and Probit Models* (3rd edition). Beverly Hills, CA. Sage Publications.
- Amman, G.D., 1973. Population changes of the mountain pine beetle in relation to elevation. *Environmental Entomology*, 2: 541-547.
- Binkley, D., Stape, J.L., Ryan, M.G., Barnard, H.R. and Fownes, J., 2002. Age-related decline in forest

- Applied Geography, 27(1): 28-41.
- Shaw, J. D., Steed, B. E. and DeBlander, L. T., 2005. Forest inventory and analysis (FIA) annual inventory answers the question: what is happening to Pinyon-juniper woodlands? *Journal of Forestry*, 103: 280-285.
 - Starkey, D. A., Oak, S.W., Ryan, G. W., Tainter, F. H. Redmond, C. and Brown, H. D., 1988. Evaluation of oak decline areas in the south. Protection Publication, R8-PR 17. Atlanta, GA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Region, 36 p.
 - Steele R., Williams, R.E., Weatherby, J.C., Reinhardt, E.D., Hoffman, J.T. Their, R.W., 1996. Stand Hazard Rating for Central Idaho Forests. GTR-INT-332. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Research Station, Ogden, UT, 29 pp.
 - Stephenson, N. L., 1990. Climatic control of vegetation distribution: the role of water balance. *American Naturalist*. 135: 649-670.
 - Mather, P. M., 1999. Computer processing of Remotely Sensed Images, 2nd Edition, John Wiley & Sons.
 - Negro'n J.F., McMillin J.D., Anhold J.A. Coulson D., 2009. Bark beetle-caused mortality in a drought-affected ponderosa pine landscape in Arizona, USA. *Forest Ecology and Management* ,257: 1353-1362.
 - Nelson, T.A., Boots B., Wulder, M.A. & Carroll, A.L., 2007. Environmental characteristics of mountain pine beetle infestation hot spots. *BC Journal of Ecosystems and Management*, 8(1): 91-108.
 - Pôças, I., Cunha, M., Pereira, L. S. and Allen, R. G, 2013. "Using remote sensing energy balance and evapotranspiration to characterize montane landscape vegetation with focus on grass and pasture lands", *International Journal of Applied Earth Observation and Geo information*, 21: 159-172.
 - Shalaby, A., Tateishi, R., 2007. Remote sensing and GIS for mapping and monitoring land cover and land use changes in the Northwestern coastal zone of Egypt.